

ارزیابی کیفیت آب دریاچهی زریوار استان کردستان با استفاده از شاخص‌های کیفی TSI، TLI و

WQI_{NSF}

چکیده

برای تحلیل و تفسیر مشخصه‌های کیفی آب، روش‌های مختلف ریاضی وجود دارد که از میان آن‌ها، روش شاخص‌های کیفی آب یکی از ساده‌ترین روش‌ها با کاربرد فراوان است. دریاچه زریوار تنها پهنه آبی و مهم‌ترین اکوسیستم آبی در استان کردستان است که از لحاظ اینکه شرایط مناسبی برای انواع آبزیان و دوزیستان فراهم می‌سازد، حائز اهمیت است. در این مطالعه از سه شاخص TLI و TSI و WQI_{NSF} جهت مشخص کردن وضعیت کیفی آب دریاچه زریوار استفاده شد. پارامترهای مختلف آب دریاچه در طی ۱۸ ماه در فصول مختلف در سال ۱۳۹۵ بررسی شد. بر اساس شاخص TLI دریاچه زریوار با مقدار عددی ۶/۲۵ به عنوان اکوسیستم هایپرتروف شناخته شد. مقدار حاصل از شاخص TSI برابر ۶۴/۰۶ است که در کلاس سوم از طبقه‌بندی یعنی یوتروف قرار می‌گیرد. بر اساس شاخص WQI_{NSF} دریاچه زریوار با مقدار ۵۵/۷ وضعیت متوسطی داشته و در کلاس سوم طبقه‌بندی قرار گرفت. با توجه به بررسی شاخص‌های مختلف مشخص شد که شاخصی که پارامترهای بیشتری در آن دخیل هستند وضعیت دقیق‌تر و واقعی‌تری از دریاچه را نشان خواهد داد و نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که کیفیت آب دریاچه زریوار در طی مدت مطالعه شرایط مناسبی ندارد. لذا می‌بایست جهت حفظ این منبع آبی از آلودگی‌های خطرناک، دستورالعمل‌های سخت‌گیرانه‌تری به‌ویژه برای ورود فاضلاب‌های خانگی و کشاورزی در نظر گرفته شود.

واژگان کلیدی: دریاچه زریوار، کیفیت آب، شاخص TLI، شاخص TSI، شاخص WQI_{NSF}.

مقدمه

یکی از روش‌های بسیار ساده و دور از پیچیدگی‌های ریاضی و آماری که می‌تواند شرایط کیفی آب را بازگو کند، استفاده از شاخص‌های کیفی آب می‌باشد. این شاخص‌ها روش‌هایی هستند که در مدیریت کیفی آب می‌توان از آن به‌عنوان یک ابزار مدیریتی قوی برای تصمیم‌گیری‌های مربوطه استفاده کرد (House, 1989; Fathi and Ahmadifard, 2020; Avvannavar and Shrihari, 2008). همچنین با استفاده از شاخص‌های کیفی، حجم زیاد از اطلاعات نمونه‌برداری شده به‌صورت یک عدد منفرد و بدون بعد تبدیل می‌شود که دارای مفهوم و تعریف کیفی تفسیر شده‌ای است (Abedini et al., 2021; Mohseni-bandpey et al., 2014).

دریاچه‌ها زیستگاه‌های فوق‌العاده‌ای برای مطالعه پویایی اکوسیستم‌ها هستند، این مهم ناشی از تعامل بین فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و عوامل بیولوژیک است. اگرچه دریاچه‌ها کمتر از ۰/۰۱ درصد آب‌های سطح زمین را در خود جای داده‌اند، اما بیش از ۹۸ درصد آب شیرین را تأمین می‌کنند. آن‌ها از نظر تأمین آب آشامیدنی، تنوع زیستی، آبیاری زمین‌های کشاورزی، فعالیت‌های صنعتی، تفریحی و سرگرمی دارای اهمیت هستند. در نتیجه افزایش رشد جمعیت، کشاورزی و توسعه صنعت، بسیاری از مواد آلاینده به محیط‌زیست وارد شده‌اند (Afshar et al., 2012). دریاچه‌ها قابلیت زیادی برای جذب آلودگی‌ها و غنی شدن دارند و از این بابت بسیار آسیب‌پذیرند. نحوه اثر آلاینده‌ها در این محیط‌ها با سایر محیط‌های آبی بسیار متفاوت است. به عبارتی ظرفیت خود پالایی این سیستم آبی در مقایسه با سایر سیستم‌های آبی پایین‌تر است (Aksoy and Özsoy,

بهمن فیضی^۱

نصراله احمدی فرد^{۲*}

مهدی عرفانیان^۳

- دانش‌آموخته بوم‌شناسی آبزیان شیلاتی، گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
- دانشیار گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

*مسئول مکاتبات:

n.ahmadifard@urmia.ac.ir

کد مقاله: ۱۴۰۱۰۹۵۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

این مقاله پژوهشی و برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.



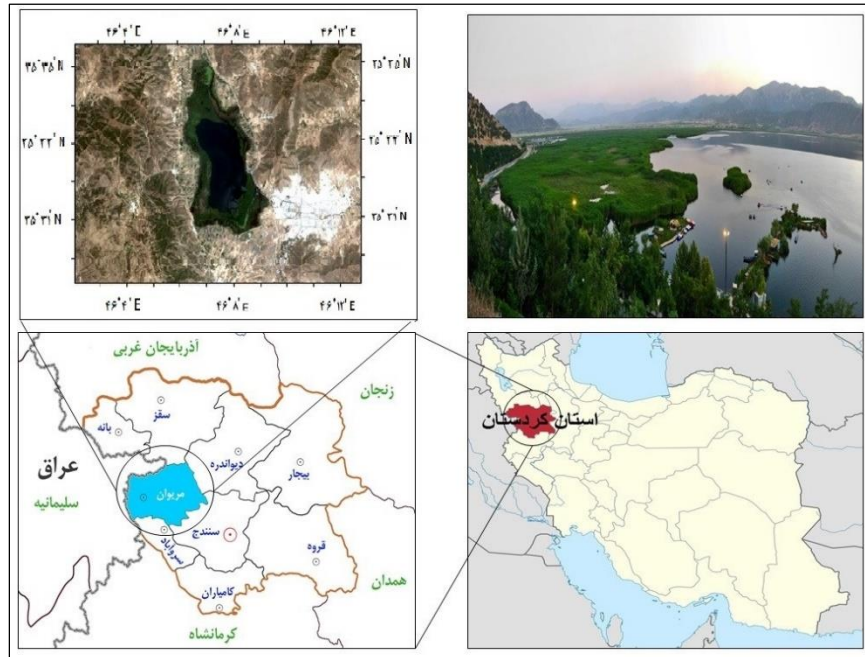
2002). یوتریفیکاسیون یکی از پدیده‌های مضر محیطی در آب‌های داخلی است که توسط نیتروژن و فسفر به صورت مصنوعی غنی‌سازی می‌شود (Fernández et al., 2009; Abedini et al., 2021). در طی پنجاه سال گذشته، عظیم‌ترین فرآیند یوتریفیکاسیون در نتیجه فعالیت‌های انسان در دریاچه‌ها در بسیاری از نقاط جهان اتفاق افتاده است (Ostojic et al., 2007). یوتریفیکاسیون با جایگزینی ماکروفیت‌ها به فیتوپلانکتون‌ها آب دریاچه را از شفاف به کدر تبدیل می‌کند. این فرآیند دارای تأثیرات مضر بر اکوسیستم‌های آبی و سلامت انسان است (Orimoloye et al., 2020; Correll, 1998). نیتروژن و فسفر دو ماده اصلی در رشد جلبک‌ها هستند. در ارزیابی شرایط تروپی ترکیبی از عوامل فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیک، روابط متقابل بین آن‌ها و میزان تولید اولیه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Ostojic; Fares et al., 2020; Garnier et al., 2007). همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که مهم‌ترین نگرانی ورود پساب شهری علاوه بر افزایش بیومس جلبکی و به دنبال آن کاهش اکسیژن در اثر تجزیه مواد آلی، توسعه بیومس جلبک‌های سمی سیانوباکتری‌ها می‌باشد که منجر به مرگومیر موجودات تغذیه‌کننده از آن‌ها خواهد شد. پساب‌ها می‌تواند با آزاد کردن عوامل بیماری‌زا نیز سبب آلودگی گردد.

دریاچه زریوار تنها دریاچه آب شیرین در استان کردستان بوده که در فاصله دو کیلومتری شمال غربی شهرستان مریوان قرار گرفته است. سطح دریاچه ۸۳۰ هکتار است که با در نظر گرفتن حاشیه غرقابی حدوداً ۱۲۰۰ هکتاری، مساحت آن به حدود ۲۰۰ هکتار می‌رسد (Sharifinia et al., 2013). این دریاچه به‌عنوان پناهگاه حیات وحش، یک ذخیره‌گاه طبیعی ژنتیکی برای انواع گیاهان و جانوران آبی و کنار آبی محسوب شده و یکی از توقفگاه‌های مهم پرندگان مهاجر آبی در فصل زمستان و برخی پرندگان مهاجر عبوری در دیگر فصول است. همچنین وجود چشم‌اندازهای جنگلی و کوهستانی و دامنه‌های کوهپایه‌ای در یک مجموعه بسته در اطراف دریاچه آن را به صورتی درآورده است که از نظر اکوتوریسمی از جمله توانمندترین مناطق طبیعی کشور به شمار می‌رود (Fazelnia and Hedayati, 2010). مجموعه‌ای از شاخص‌های اختصاصی از جمله نوع جانوران و گیاهان آبی، میکروکلیمای خاص، شرایط اکولوژیک استثنایی و برخی خصوصیات دیگر باعث شده تا این دریاچه در فهرست تالاب‌های تحت نظر سازمان جهانی محیط‌زیست ثبت گردد. عمق دریاچه زریوار در اثر رسوب‌گذاری‌های جریان یافته از اراضی بالادست کاهش یافته (Feysi et al., 2021) که ناشی از تغییرات کاربری زمین به باغ، مرتع، زراعت و مناطق مسکونی است. سطح دریاچه از حدود ۲۰۰۰ هکتار در چند دهه پیش به قریب ۹۰۰-۸۵۰ هکتار رسیده است (Ghaderi and Ghafouri, 2006).

از شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی و تعیین شرایط کیفی آب دریاچه‌ها استفاده شده است که از بین آن‌ها شاخص‌های TLI و IRWQISC و BCWQI و TSI و OWQI و OECD و NSFQI به دلیل سادگی و وسعت کاربرد از اهمیت بالایی برخوردار هستند (House, 1989; Avvannavar and Shrihari, 2008). بر اساس مطالعات (Ehteshami et al., 2014; Khorramabadi Shams et al., 2014; Salari et al., 2013) از شاخص WQI_{NSF} برای طبقه‌بندی کیفی رودخانه‌های مختلف استفاده شده است و نتایج آن‌ها کارایی این روش‌ها را نشان داده است. در این راستا در تحقیق حاضر برای ارزیابی کیفیت آب دریاچه زریوار، از شاخص‌های کیفی TLI و TSI و WQI_{NSF} به‌عنوان رایج‌ترین و مناسب‌ترین روش تعیین تغییرات کیفیت، با توجه به سهولت استفاده از آن‌ها و بیان نتایج به زبان ساده و قابل فهم، استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

دریاچه‌ی زریوار در داخل رشته‌کوه‌های زاگرس در شمال غرب ایران (استان کردستان) در طول جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۵ دقیقه واقع شده است. بیشترین عمق دریاچه ۷ متر و میانگین عمق آن ۳ متر است (Sharifinia et al., 2013).



شکل ۱: موقعیت دریاچه‌ی زیروار (ایران - قسمت غربی کشور - استان کردستان - شهرستان مریوان).

اطراف دریاچه به‌استثنای قسمتی از شرق آن به‌وسیله‌ی کمربندی از پوشش گیاهی باتلاقی از جمله نی و لوئی احاطه‌شده است که وسعت این پوشش‌ها حدود ۱۲۰۰ هکتار برآورد شده است. آب آن از تعدادی چشمه کف جوش و چشمه‌های بخش غربی دریاچه و بارش تأمین می‌شود و هیچ رودخانه‌ی دائمی به این دریاچه نمی‌ریزد (Gholami and Shapouri, 2013).

این تحقیق به مدت ۱۸ ماه، از فروردین سال ۱۳۹۴ تا شهریور سال ۱۳۹۵ انجام گردید. در طی بازدیدهای میدانی و با توجه به بررسی‌های کارشناسان محیط‌زیست قسمتی از دریاچه که در آن اختلاط کامل عوامل واردشده دیده می‌شد به‌عنوان محل مناسب برای نصب دستگاه سنجش کیفیت از استفاده شد. ایستگاه تعیین‌شده گویای شرایط و وضعیت واقعی دریاچه باشد. اطلاعات مربوط به پارمترهای کیفی آب از دستگاه سنجش کیفیت آب در ایستگاه موردنظر اخذ شد. پارامترهایی همچون اکسیژن محلول، نیترات، کدورت، میزان pH، فسفات، دما، COD، BOD₅، کلی فرم مدفوعی، کلروفیل a، هدایت الکتریکی، جامدات کل و عمق دید صفحه سی‌سی اندازه‌گیری شد (Standard methods, 2005). با توجه به پارامترهای موجود جهت تعیین وضعیت تروپی دریاچه شاخص‌های TLI، TSI و WQI_{NSF} به‌کاربرده شد.

جهت تعیین وضعیت تروپی بر اساس هر پارامتر از رابطه‌های زیر استفاده گردید (Bryers and Bowman, 2000):

میزان تروپی TLI برحسب میزان کلروفیل بر اساس رابطه ۱ تعیین شد.

$$\text{TLC} = 2/22 + 2.54 \times \log (\text{Chl.a}) \quad \text{رابطه ۱:}$$

میزان تروپی TLI برحسب عمق رؤیت صفحه سکشی (SD) با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد.

$$\text{TLS} = 5.10 + 2.27 \times \log (1/\text{SD}-1/40) \quad \text{رابطه ۲:}$$

میزان تروفی TLI برحسب میزان فسفات کل (TP) بر اساس رابطه ۳ محاسبه شد.

$$\text{TLP} = 0.218 + 2.92 \times \log (\text{TP}) \quad \text{رابطه ۳:}$$

میزان تروفی TLI برحسب میزان نیترات کل (TN) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد.

$$\text{TLN} = -3/61 + 3/01 \times \log (\text{TN}) \quad \text{رابطه ۴:}$$

میانگین مقادیر این چهار رابطه بیانگر میزان تروفی هر دریاچه است (رابطه ۵):

$$\text{TLI} = \Sigma [\text{TLI} (\text{TP}) + \text{TLI} (\text{TN}) + \text{TLI} (\text{CA}) + \text{TLI} (\text{SD})] / 4 \quad \text{رابطه ۵:}$$

البته هریک از پارامترها نیز به تنهایی گویای میزان تروفی خواهند بود. مقادیر شاخص TLI و متغیرهای مربوط به آن در جدول ۱ آمده است. این شاخص دریاچه‌ها را به ۷ گروه تقسیم‌بندی می‌کند.

جدول ۱: مقادیر شاخص TLI و دسته‌های تروفی مربوط به آن (Bryers and Bowman, 2000).

وضعیت تروفی	غناى نوترینتی	عدد تروفی	کلروفیل a (میکروگرم در لیتر)	عمق شفافیت (متر)	فسفات کل (میکروگرم در لیتر)	نیترات کل (میکروگرم در لیتر)
اولترامیکروتروف	مطلقاً خالص	۰ تا ۱	<۰/۳۳	>۲۵	<۱/۸	<۳۴
میکروتروف	خیلی کم	۱ تا ۲	۰/۳۳ - ۰/۸۲	۲۵-۱۵	۱/۸-۴/۱	۳۴-۷۳
الیگوتروف	کم	۲ تا ۳	۰/۸۲-۲	۱۵-۷	۴/۱-۹	۷۳-۱۵۷
مزوتروف	متوسط	۳ تا ۴	۲-۵	۷-۲/۸	۹-۲۰	۱۵۷-۳۳۷
یوتروف	زیاد	۴ تا ۵	۵-۱۲	۲/۸-۱/۱	۲۰-۴۳	۳۳۷-۷۲۵
سوپرتروف	خیلی زیاد	۵ تا ۶	۱۲-۳۱	۱/۱-۰/۴	۴۳-۹۶	۷۲۵-۱۵۵۸
هایپرتروف	اشباع	>۶	>۳۱	<۰/۴	>۹۶	>۱۵۵۸

شاخص کیفی WQI_{NSF} (National Sanitation Foundation Water Quality Index) در اوایل دهه ۱۹۷۰ جهت پایش کیفیت آب توسط موسسه ملی بهداشت ایالات متحده آمریکا تهیه گردید. روش شاخص کیفی آب WQI_{NSF} به منظور تعیین کیفیت آب برای محیط‌زیست است. در ایجاد شاخص کلی WQI_{NSF} به هریک از پارامترها یک وزن و یا ارزش عددی نسبت داده شده است. در جدول ۲ عامل وزنی مربوط به پارامترهای به کاررفته در این شاخص آمده است. پارامترهای مورداستفاده در محاسبه این شاخص شامل DO ، pH ، BOD_5 ، NO_3 ، PO_4 ، TSS و کدورت می‌باشد. تفسیر آلودگی در روش WQI_{NSF} به صورت جدول ۳ نشان داده شده است. برای محاسبه شاخص نهایی از جمع وزنی خطی زیر شاخص‌ها به صورت رابطه ۶ استفاده می‌شود (Dos Santos Simoes *et al.*, 2008).

$$\sum_{i=1}^n qi^{Wi} \quad WQI_{NSF} = \quad \text{رابطه ۶:}$$

که در آن n: تعداد پارامتر و qi ارزش کیفیت هر پارامتر (بین ۰ تا ۱۰۰) می‌باشد.

Wi : ضریب وزنی هر فاکتور بین ۰ تا ۱ می‌باشد (مجموع ضرایب وزنی تمام فاکتورهای ۱ می‌باشد).

جدول ۲: عامل‌های وزنی شاخص WQI_{NSF}.

پارامتر	DO	کلی فرم مدفوعی	pH	BOD	TSS	NO ₃	PO ₄	دما	کدورت
ضریب وزنی	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۰۸

جدول ۳: تفسیر کیفیت آب به روش WQI_{NSF}.

مقدار عددی شاخص	۰-۲۵	۲۶-۵۰	۵۱-۷۰	۷۱-۹۰	۹۱-۱۰۰
تعریف	بسیار بد	بد	متوسط	خوب	عالی

پارامترهای استفاده شده در شاخص کارلسون TSI (Trophic State Index) شامل فسفر کل (TP)، غلظت کلروفیل a و عمق شفافیت (SD) می‌باشد. به منظور محاسبه مقادیر شاخص تروفی TSI بر اساس پارامترهای فوق از رابطه مربوطه زیر استفاده می‌شود (Lee and Lin, 2000):

رابطه ۷: $TSI (SD) = 60 - 14/41 \ln (SD)$

رابطه ۸: $TSI (CHL) (\mu g.l^{-1}) = 9/81 \ln (CHL.a) + 30/6$

رابطه ۹: $TSI (TP) (\mu g.l^{-1}) = 14/42 \ln (TP) + 4/15$

رابطه ۱۰: $TSI = TSI (SD) + TSI (CHL.a) + TSI (TP)/3$

جدول ۴: طبقه‌بندی دریاچه‌ها بر اساس وضعیت تروفی با استفاده از شاخص TSI

(Lee and Lin, 2000; Agency, 2000).

شاخص TSI	وضعیت تروفی	عمق شفافیت (متر)	کلروفیل (میکروگرم بر لیتر)	فسفر کل (میکروگرم بر لیتر)
> ۴۰	الیگوتروف	< ۴	> ۲/۶	> ۱۲
۴۰-۵۰	مزوتروف	۴-۲	۷/۲-۲/۶	۲۴-۱۲
۵۰-۷۰	یوتروف	۰/۲-۵	۵۵/۵-۷/۲	۷۰-۲۴
< ۷۰	هایپریوتروف	> ۰/۵	< ۵۵/۵	< ۹۶

جدول ۵: ارتباط بین متغیرهای شاخص TSI (Jorgensen et al., 2005).

شرایط	ارتباط بین متغیرهای شاخص TSI
بloom جلبک‌ها و کاهش نفوذ نور	$TSI(Chl.a) = TSI(SD) = TSI(TP)$
محدودیت عاملی غیر از فسفات	$TSI(Chl.a) - TSI(TP) < 0$
محدودیت فسفر	$TSI(Chl.a) - TSI(TP) > 0$
گل آلودگی یا غلظت بالای مواد آلی	$TSI(Chl.a) - TSI(SD) < 0$
چرای زئوپلانکتونی یا غلبه سیانوباکترهای بزرگ	$TSI(Chl.a) - TSI(SD) > 0$

نتایج

نتایج فاکتورهای اندازه‌گیری شده در آب دریاچه زریوار کردستان از فرودین ۱۳۹۴ تا شهریورماه ۱۳۹۵ ثبت شد و بر اساس آن شاخص‌های TLI، TSI و WQI_{NSF} محاسبه شد که نتایج آن در جداول ۶ تا ۸ آمده است. جدول ۶ نتایج شاخص TL کلروفیل، عمق شفافیت، فسفر و نیتروژن به همراه تروفی از بهار ۱۳۹۴ تا تابستان ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. کم‌ترین میزان TLC در فصل زمستان مشاهده شد که باعث گردیده میانگین TLI کمتر از ۶ باشد و وضعیت تروفی به صورت سوپرتروف بیان گردد. در بقیه فصول میزان شاخص TLI از ۶ بالاتر می‌باشد که بر اساس تفاسیر وضعیت آن‌ها هایپرتروف و اشباع از مواد مغذی می‌باشد.

جدول ۶: نتایج شاخص TLI به همراه وضعیت تروفی از بهار ۹۴ تا تابستان ۹۵ در دریاچه زریوار.

فصول نمونه‌برداری	میزان شاخص‌ها						وضعیت تروفی بر اساس شاخص TLI
	SD	میانگین TLI	TL _N	TL _P	TL _S	TL _C	
بهار ۹۴	۰/۰۴	۶/۲۰	۸/۲۱	۷/۰۶	۴/۸۱	۴/۷۱	هایپرتروف
تابستان ۹۴	۰/۰۴	۶/۴۳	۸/۴۶	۷/۱۵	۴/۷۳	۵/۳۷	هایپرتروف
پاییز ۹۴	۰/۱۵	۶/۲۶	۸/۳۱	۷/۱۰	۴/۹۹	۴/۶۴	هایپرتروف
زمستان ۹۴	۰/۱۶	۵/۸۸	۸/۲۱	۷/۱۰	۵/۰۸	۳/۱۶	سوپرتروف
بهار ۹۵	۰/۱۲	۶/۱۸	۸/۰۸	۷/۶۴	۴/۸۲	۴/۱۶	هایپرتروف
تابستان ۹۵	۰/۱۰	۶/۵۸	۸/۰۴	۷/۹۰	۴/۷۳	۵/۶۶	هایپرتروف
میانگین کلی TLI						۶/۲۵	

جدول ۷ نتایج شاخص WQI_{NSF} و بررسی تروفی آن از بهار ۱۳۹۴ تا تابستان ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. بر اساس این شاخص تمامی فصول نمونه‌برداری وضعیت کیفی متوسط را نشان دادند که نشان‌دهنده غنی بودن از مواد مغذی می‌باشد. بر اساس این ارزیابی مواد جامد محلول و pH کیفیت خوبی از دریاچه را نشان می‌دهد. وضعیت دریاچه از نظر اکسیژن نیز وضعیت متوسطی را نشان می‌دهد. از نظر درجه حرارت و کلی فرم مدفوعی دریاچه وضعیت بدتری نسبت به میانگین کل نشان می‌دهد. از نظر مقایسه فصلی شاخص فسفات، کلی فرم مدفوعی، درجه حرارت و BOD در تابستان ۹۵ نسبت به سایر فصول وضعیت بدتری را نشان داد.

جدول ۷: نتایج شاخص WQI_{NSF} برای هر پارامتر و وضعیت تروفی از بهار ۹۴ تا تابستان ۹۵ در دریاچه زریوار.

وضعیت تروفی بر اساس شاخص WQI _{NSF}	میزان شاخص برای هر پارامتر											
	SD	میانگین WQI _{NSF}	کدورت	کلی فرم مدفوعی	pH	BOD	مواد جامد معلق	نیترات	فسفات	درجه حرارت	اکسیژن محلول	فصول نمونه‌برداری
متوسط	۰/۸۳	۵۷/۶	۶۶	۲۷	۹۱	۵۵	۷۷	۵۴	۵۱	۳۵	۶۳	بهار ۹۴
متوسط	۰/۳۹	۵۲/۴	۶۵	۲۵	۸۸	۵۳	۷۸	۵۱	۴۹	۱۷	۴۵	تابستان ۹۴
متوسط	۰/۸۳	۵۸/۲	۶۵	۴۸	۸۱	۵۵	۷۴	۵۳	۵۰	۳۱	۶۶	پاییز ۹۴
متوسط	۱/۳۹	۵۷/۷	۶۵	۴۶	۸۰	۵۶	۷۴	۵۵	۵۰	۴۰	۵۳	زمستان ۹۴
متوسط	۰/۷۸	۵۴/۹	۶۶	۳۸	۸۰	۵۰	۷۵	۵۶	۳۹	۳۵	۵۶	بهار ۹۵
متوسط	۰/۷۶	۵۳/۴	۶۷	۲۱	۸۲	۴۴	۷۴	۵۷	۳۴	۱۷	۸۶	تابستان ۹۵
متوسط		۵۵/۷										میانگین کلی WQI _{NSF}

جدول ۸: نتایج شاخص TSI به همراه تفاسیر آن از بهار ۹۴ تا تابستان ۹۵ در دریاچه زریوار.

وضعیت تروفی بر اساس میانگین TSI	میزان شاخص‌ها					فصول نمونه‌برداری
	SD	میانگین TSI	TSI (SD)	TSI (Chlo)	TSI (TP)	
یوتروف	۰/۱۳	۶۳/۶۴	۵۶/۲۵	۵۲/۷۶	۸۱/۹۲	بهار ۹۴
یوتروف	۰/۳۲	۶۵/۵۴	۵۵/۰۸	۵۸/۵۶	۸۲/۹۸	تابستان ۹۴
یوتروف	۱/۴۰	۶۴/۴۳	۵۸/۸۱	۵۲/۱۲	۸۲/۳۵	پاییز ۹۴
یوتروف	۱/۹۱	۶۰/۴۵	۶۰/۰۶	۳۸/۹۳	۸۲/۳۵	زمستان ۹۴
یوتروف	۲/۳۰	۶۴/۲۶	۵۶/۳۷	۴۷/۸۴	۸۸/۵۷	بهار ۹۵
یوتروف	۰/۸۴	۶۹/۲۷	۵۵/۱۶	۶۱/۱۶	۹۱/۵۰	تابستان ۹۵
		۶۴/۶۰				میانگین کلی TLI

در جدول ۸ نتایج شاخص TSI (Tp)، TSI (Chlo) و TSI (SD) و میانگین TSI به همراه وضعیت تروفی آمده است. همان‌طور که مشخص است میزان TSI (Chlo) در فصل زمستان کم‌ترین میزان را نسبت با سایر فصول نشان می‌دهد؛ ولی برعکس میزان TSI (SD) در این فصل از بقیه فصول بیشتر است. در تمام فصول میزان شاخص TLI بین ۵۰ تا ۶۰ می‌باشد که بر اساس تفاسیر وضعیت آن‌ها یوتروف و غنی از مواد مغذی می‌باشد. همان‌طور که مشخص است با استفاده از این شاخص وضعیت دریاچه از نظر شفافیت نسبت به فسفات و کلروفیل وضعیت بهتری را نشان داد و برعکس به علت بالا بودن میزان فسفات شاخص مربوط به فسفات وضعیت بدتری از دریاچه را نشان داد.

بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر از ۳ شاخص برای بررسی کیفیت آب دریاچه زریوار استفاده شد که بر اساس شاخص WQI_{NFS} وضعیت دریاچه در طبقه متوسط، بر اساس شاخص TLI در طبقه هایپر تروف و بر اساس TSI در طبقه یوتروف قرار می‌گیرد. برای ارزیابی کیفیت آب دریاچه زریوار، از شاخص‌های کیفی به‌عنوان رایج‌ترین و مناسب‌ترین روش تعیین تغییرات کیفیت، با توجه به سهولت استفاده از آن‌ها و بیان نتایج به زبان ساده و قابل فهم و با توجه به فاکتورهای موجود، استفاده شده است. عوامل یا فاکتور مورد استفاده در هر شاخص بر نتایج آن تأثیرگذاری مستقیم دارد (Camara et al., 2019; Bryers and Bowman, 2000). در مطالعه حاضر از بین ۴ عامل دخیل در محاسبه شاخص TLI میزان نیتروژن و فسفر آب دریاچه زریوار نقش بسزایی در افزایش این شاخص داشته و باعث شد که کیفیت آب در بیشتر فصول به‌جز فصل زمستان به‌صورت هایپر تروف ارزیابی گردد. عامل اصلی کاهش این شاخص در فصل زمستان کاهش قابل توجه میزان فتوسنتز و کاهش کلروفیل a در اثر نبود رشد فیتوپلانکتون‌ها می‌باشد. با استفاده از شاخص TSI کیفیت آب دریاچه زریوار از کیفیت مناسبی برخوردار نبود و به‌صورت یوتروف ارزیابی شد. با مقایسه نتایج این شاخص و جدول توصیفی ۵ مشخص است که در دریاچه مورد مطالعه میزان فسفر بالا بوده ولی میزان TSI کلروفیل کمتر از TSI فسفر می‌باشد که نشان‌دهنده این است که محدودیت رشد ریز جلبک‌های تولیدکننده کلروفیل عاملی غیر از فسفات می‌باشد. در مطالعه Abedini و همکاران (۲۰۲۱) بر روی تغذیه گرای دریاچه مصنوعی چیتگر بررسی نشان‌دهنده نقش محدودکنندگی فسفر در فرایند یوتروف شدن می‌باشد. همچنین شاخص TSI بین ۲۹ تا ۵۰ به‌دست آمده است. همچنین با بررسی جدول ۸ مشخص می‌شود که TSI کلروفیل در محدوده TSI شفافیت می‌باشد که نشان می‌دهد فقط حضور ریز جلبک‌ها سبب ایجاد سایه در عمق‌های بالاتر می‌شود و عامل دیگری مانند کل آلودگی در برآورد TSI شفافیت نقشی نداشتند. در شاخص WQI_{NFS} ۹ پارامتر تأثیرگذار می‌باشد که در مطالعه حاضر از بین آن‌ها ۴ عامل درجه حرارت، نترات، فسفات و کلی فروم مدفوعی نقش زیادی در کاهش این شاخص داشتند که در نهایت کاهش این شاخص منجر به ارزیابی دریاچه به‌صورت

متوسط گردد. در مطالعه Fathi و Ahmadifard (۲۰۲۰) میانگین شاخص WQI_{NFS} در رودخانه سقر استان کردستان که تحت تأثیر پساب شهری بود بین ۶۳ تا ۷۷ به دست آمد که کمترین شاخص نشان‌دهنده تأثیرگذاری پساب ورودی شهر سقر بر کاهش کیفیت آب بود. در مطالعه Ghosh و همکاران (۲۰۱۹) با مطالعه فاکتورهای فیزیکوشیمیایی شاخص کیفیت WQI_{NSF} محاسبه شد. بر اساس نتایج آن‌ها کیفیت آب سطحی که تحت تأثیر پساب قرار گرفتند از نظر عددی بین ۲۳ تا ۳۹ متغیر بود که نشان‌دهنده کیفیت آب بد می‌باشد. وجود بالای کلی فرم مدفوعی، نیترات و فسفات به علت ورود زه‌آب‌های کشاورزی و شهری به دریاچه می‌باشد (Sadeghi *et al.*, 2015). در شاخص WQI_{NFS} عوامل دیگری از جمله اکسیژن محلول و pH تأثیرگذار می‌باشد که در دو شاخص دیگر TSI و TLI این ۲ عامل نقشی ندارند. ارتباطی بین اکسیژن ایستگاه‌ها با مقادیر فسفر و نیتروژن ایستگاه‌ها موجود است. مقادیر بالای مواد مغذی از جمله فسفر و نیتروژن منجر به کاهش اکسیژن در همان ایستگاه می‌شود (Carstens and Amer, 2019). از آنجایی که در دریاچه حاضر در اثر وجود فسفر و نیتروژن و رشد فیتوپلانکتون‌ها تولید اکسیژن بیولوژیکی اتفاق افتاده است و لذا وجود اکسیژن بالا در اکوسیستم تأثیر مثبتی در ارزیابی نهایی اکوسیستم نشان داد و باعث شد که شاخص WQI_{NFS} وضعیت بهتری از اکوسیستم نسبت به ۲ شاخص دیگر نشان دهد. در جدول ۷ نشان داده شده که میزان شاخص WQI_{NFS} برای مواد جامد معلق نمره بالایی گرفته که نشان‌دهنده پایین بودن مواد معلق جامد می‌باشد. این نکته تأیید کننده عدم دخالت عوامل دیگری مانند کل آلودگی در TSI شفافیت می‌باشد.

فسفات و نیترات از عوامل تأثیرگذار در تروفی یک اکوسیستم ساکن مثل دریاچه زریوار می‌باشد که عدم کنترل ورود آن به اکوسیستم باعث خطر تغذیه گرایی خواهد شد (Burns *et al.*, 2009؛ Chapra and Dobson, 1981). نتایج مطالعه حاضر با مطالعه Sadeghi و همکاران (۲۰۱۵) در مورد کیفیت آب رودخانه که متأثر از فعالیت‌های کشاورزی بود مطابقت دارد. در مطالعه آن‌ها کیفیت آب رودخانه با استفاده از شاخص‌های WQI_{NFS} و IRWQI بررسی شد و کیفیت آب در حد متوسط بیان شد. از آنجایی که رودخانه یک اکوسیستم بویا و متحرک می‌باشد کیفیت آب به مراتب بهتری را نسبت به اکوسیستم‌های ساکن نشان می‌دهند. همچنین مطالعه Teraoka و Ogawa (۱۹۸۴) نشان داده که فعالیت‌های انسانی و کشاورزی اطراف رودخانه بر کیفیت آب اکوسیستم‌ها تأثیر قابل ملاحظه‌ای دارد. Abtahi و همکاران (۲۰۱۵) و Javid و همکاران (۲۰۱۴) به ترتیب با مطالعه با آب شرب استان خوزستان و دریاچه سد دز به این نتیجه رسیدند که استفاده از شاخص WQI_{NFS} می‌تواند نتایج سودمندی را داشته باشد.

بر اساس شاخص‌های مورد استفاده مشخص شد که از بین پارامترهای مورد مطالعه، کلی فرم مدفوعی، فسفر، نیترات و درجه حرارت بیشترین تأثیرگذاری منفی را نشان دادند. دلیل قرارگیری کیفیت آب در طبقه ضعیف به علت بالا بودن مقادیر این فاکتورها می‌باشد که ناشی از ورودی پساب‌های خانگی شهری و کشاورزی به این دریاچه می‌باشد. اگرچه بر اساس این پارامترها می‌توان از این آب برای مصارف کشاورزی استفاده کرد ولیکن حضور بالای مواد مغذی در این دریاچه در طی سال‌های آتی منجر به تخریب بیشتر اکوسیستم خواهد شد. از این رو می‌بایست جهت حفظ این منبع آبی از آلودگی‌های خطرناک دستورالعمل‌های سخت‌گیرانه‌تری به‌ویژه برای ورود فاضلاب‌های خانگی و صنعتی در نظر گرفته شود.

منابع

Abedini, A., Bagheri, S., Mirzajani, A. R., Ghane, A. and Talakesh, M. R., 2021. The trend of changes in the Trohic State Index (TSI) in Chitgar Lake during 2013-2019. *Wetland Ecobiology*, 13(1): URL: <http://jweb.iauahvaz.ac.ir/article-1-947-fa.html>.

Abtahi, M., Golchinpour, N., Yaghmaeian, K., Raffiee, M., Jahangiri-rad, M. and Keyani, A. and Saeedi, R., 2015. A modified drinking water quality index (DWQI) for assessing drinking source water quality in rural communities of Khuzestan Province, Iran. *Ecological Indicators*, 53: 283-291.

Afshar, A., Saadatpour, M. and Marino, M. A., 2012. Development of a complex system dynamic eutrophication model: application to Karkheh reservoir. *Environmental Engineering Science*, 29(6): 373-385.

- Agency, U. S. E. P., 2000.** Nutrient criteria technical guidance manual: rivers and streams: EPA-822-B00-002. Office of Science and Technology Washington, DC 20460.
- Aksoy, E. and Özsoy, G., 2002.** Investigation of multi-temporal land use/cover and shoreline changes of the Uluabat Lake Ramsar Site using RS and GIS. Paper presented at the Proceedings of the International Conference on Sustainable Land Use and Management.
- Avvannavar, S. M. and Shrihari, S., 2008.** Evaluation of water quality index for drinking purposes for river Netravathi, Mangalore, South India. *Environmental monitoring and assessment*, 143(1): 279-290.
- Bryers, G. and Bowman, E., 2000.** *Protocol for monitoring trophic levels of New Zealand lakes and reservoirs*: Wellington, New Zealand.
- Burns, N., McIntosh, J. and Scholes, P., 2009.** Managing the lakes of the Rotorua district, New Zealand. *Lake and Reservoir Management*, 25(3): 284-296.
- Camara, M., Jamil, N. R. and Abdullah, A. F. B., 2019.** Impact of land uses on water quality in Malaysia: a review. *Ecological Processes*, 8(1): 1-10.
- Carstens, D., Amer, R., 2019.** Spatio-temporal analysis of urban changes and surface water quality. *Journal of hydrology*, 569: 720-734.
- Chapra, S. C. and Dobson, H. F., 1981.** Quantification of the lake trophic typologies of Naumann (surface quality) and Thienemann (oxygen) with special reference to the Great Lakes. *Journal of Great Lakes Research*, 7(2): 182-193.
- Correll, D. L., 1998.** The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. *Journal of environmental quality*, 27(2): 261-266.
- Dos Santos Simoes, F., Moreira, A. B., Bisinoti, M. C., Gimenez, S. M. N. and Yabe, M. J. S., 2008.** Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Ecological indicators*, 8(5): 476-484.
- Ehteshami, M., Biglarijoo, N. and Salari, M., 2014.** Assessment and quality classification of water in Karun, Dez and Karkheh Rivers. *Journal of River Engineering*, 2(8): 23-30.
- Fares, A. L. B., Calvão, L. B., Torres, N. R., Gurgel, E. S. C. and Michelin, T. S., 2020.** Environmental factors affect macrophyte diversity on Amazonian aquatic ecosystems inserted in an anthropogenic landscape. *Ecological Indicators*, 113: 106231.
- Fathi, Z. and Ahmadifard, N., 2020.** Investigating the effect of urban wastewater on water quality in Saqez river using physicochemical factors and quality index. *Journal of Wetland Ecobiology*, 12(3): 23-36.
- Fazelnia, G. and Hedayati, S., 2010.** Appropriate strategies for tourism development in Zarivar Lake. *Geography and Development*, 8(9): 145-170 (In Persian).
- Fernández, C., Parodi, E. R. and Cáceres, E. J., 2009.** Limnological characteristics and trophic state of Paso de las Piedras Reservoir: An inland reservoir in Argentina. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 14(1): 85-101.
- Feysi, B., Ahmadifard, N. and Erfanian, M., 2021.** Study of changes in vegetation and water level in Zarivar Lake using Landsat satellite in the period 1984 to 2016. *Wetland Ecobiology*, 13(3): <http://jweb.iauahvaz.ac.ir/article-1-97>.
- Garnier, J., Ramarson, A., Thieu, V., Némery, J., Théry, S., Billen, G. and Coynel, A., 2018.** How can water quality be improved when the urban waste water directive has been fulfilled? A case study of the Lot river (France). *Environmental Science and Pollution Research*, 25(12): 11924-11939.
- Ghadery, N. and Ghafouri, A., 2006.** Comparative assessment of natural (forest and range) versus manmade (agriculture and urbane) environment in lake Zarivar. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research* 4(1): 19-27.
- Gholami, M. and Shapouri, M., 2013.** Identification and Investigation of the Seasonal Variations of Phytoplankton in Zarivar Lake-Kurdistan, Iran. *Marine Science*, 4(1): 26-32.
- Ghosh, S., Majumder, S. and Roychowdhury, T., 2019.** Assessment of the effect of urban pollution on surface water-groundwater system of Adi Ganga, a historical outlet of river Ganga. *Chemosphere*, 237: 124507.
- House, M. A., 1989.** A water quality index for river management. *Water and Environment Journal*, 3(4): 336-344.

- Javid, A. H., Mirbagheri, S. A. and Karimian, A., 2014.** Assessing Dez dam reservoir water quality by application of WQI and TSI indices. *Iranian Journal of Health and Environment*, 7(2): 133-142.
- Jorgensen, S. E., Loffler, H., Rast, W. and Straskraba, M., 2005.** *Lake and reservoir management* (Vol. 54): Elsevier.
- Khorramabadi Shams, G., Yusefzadeh, A., Godini, H., Hoseinzadeh, E., Khoshgoftar, M. and Yusefzadeh, A., 2014.** Evaluation of river water quality using NSFQI and GIS: A case study of Khorramrod river in khorramabad, Iran. *Archives of Hygiene Sciences*, 3(3): 101-111.
- Lee, C. C. and Lin, S. D., 2000.** *Handbook of environmental engineering calculations*: McGraw-Hill New York, 2nd edition.
- Mohseni-bandpey, A., Majlessi, M. and Kazempour, A., 2014.** Evaluation of Golgol river water quality in Ilam province based on the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQI). *Journal of Health in the Field*, 4(1): 44-53 (In Persian).
- Orimoloye, I. R., Kalumba, A. M., Mazinyo, S. P. and Nel, W., 2020.** Geospatial analysis of wetland dynamics: wetland depletion and biodiversity conservation of Isimangaliso Wetland, South Africa. *Journal of King Saud University-Science*, 32(1): 90-96.
- Ostojčić, A., Čurčić, S., Čomić, L. and Topuzović, M., 2007.** Effects of anthropogenic influences on the trophic status of two water supply reservoirs in Serbia. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 12(3): 175-185.
- Sadeghi, M., Bay, A., Bay, N., Soflaie, N., Mehdinejad, M. H. and Mallah, M., 2015.** The survey of Zarin-Gol River water quality in Golestan Province using NSF-WQI and IRWQISC. *Journal of Health in the Field*, 3(3): 27-23 (In Persian).
- Salari, M., Radmanesh, F. and Zarei, H., 2013.** Quantitative and qualitative assessment of Karoon River water using NSFQI index and AHP method. *Human & Environment*, 10(23): 13-22.
- Sharifinia, M., Ramezanzpour, Z., Imanpour, J., Mahmoudifard, A. and Rahmani, T., 2013.** Water quality assessment of the Zarivar Lake using physico-chemical parameters and NSF-WQI indicator, Kurdistan Province-Iran. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(3): 302-312.
- Standard methods, W. E. A. A., 2005.** *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA.
- Teraoka, H. and Ogawa, M., 1984.** Behavior of elements in the Takahashi, Japan River basin. *Journal of Environmental Quality*, 13(3): 453-459.